Termómetro electrónico

Franco Rafael Copes
francocopes@hotmail.com
Facultad Regional Paraná
Universidad Tecnológica Nacional
3100 Almafuerte 1033 Entre Ríos. Argentina

Palabras claves: temperatura, medición, circuito electrónico, polling, funciones.

RESUMEN

Este proyecto surge de la necesidad de una pequeña empresa dedicada a la fabricación de productos lácteos en la provincia de Santa Fe. A partir de este proyecto logré aumentar capacidades de diseño e investigación tanto en software como en hardware, mas allá del enriquecimiento intelectual que me permitió obtener nuevos puntos de vista sobre el trabajo con microcontroladores en aplicaciones industriales.

En esta ocasión desarrollé un termómetro digital de dos lecturas simultáneas, con alarmas por temperatura y tiempo programables a través de un menú muy simple. Utilizando componentes muy conocidos y fáciles de conseguir en el mercado regional, así como también la información necesaria para su manipulación.

El esquema general del proyecto consta de un microcontrolador PIC de la línea 16F876A, sensores de temperatura LM35 con filtro y amplificador de señal para llevarla a rangos convenientes de tensión, dispositivos de visualización de 7 segmentos y fuente de alimentación.

Este dispositivo permite al operario de la industria tener una rápida visualización de las temperaturas correspondientes a la maquinaria de la cual es responsable, además de informarlo en caso de sobrepasar ciertas temperaturas o tiempos previamente programados por el mismo, permitiendo mayor fluidez y precisión en el trabajo diario, lo cual es muy importante en la industria Láctea y que garantiza la homogeneidad de producción.

Introducción

Existen diversas formas de censar temperaturas en el ámbito industrial tales como termocuplas, termoresistores, diodos zener, sensores integrados, etc. La elección del dispositivo sensor dependerá en gran medida de los rangos de temperaturas que uno desea medir, el sitio en cual se instalará y las condiciones de ambiente que deberán soportar. Otro punto a tener en cuenta es la linealidad con que cada uno de estos dispositivos sensores responde; en este proyecto se comenzó por seleccionar el rango de

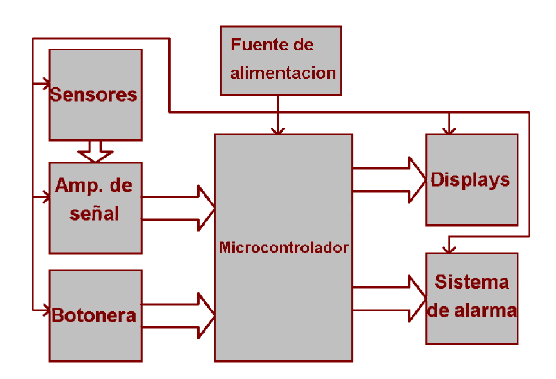
temperaturas y luego la linealidad del sensor, desembocando en el sensor de temperatura LM35.
En este tipo de industria, por su envergadura, es muy común utilizar termómetros de columna de alcohol o en su defecto de columna de mercurio. El inconveniente de este tipo de termómetro es la limpieza de los mismos y el peligro de que ante un golpe accidental su rotura haga necesario el descarte de la totalidad de la producción afectada. Otro inconveniente es la lectura del mismo, ya que es incomoda y varía según el operario que realice la medición.
En su contraparte, el termómetro digital ofrece una lectura precisa rápida y cómoda, además de no producir riesgos de contaminación al producto en contacto y una fácil limpieza.

Características de la variable a medir

En ésta industria y en particular en el proceso de producción de queso, la temperatura a medir se encuentra en un rango de 6 a 90 ºC a lo largo de todo el proceso de producción.
Según la hoja de datos del sensor, con alimentación simple, entrega 0 [V] a 2 ºC y varia 10 [mV] / ºC, teniendo como limite los 150 ºC; por lo que decidí establecer como limites de temperatura del aparato los 3 ºC y 99,9 ºC.
Por otro lado, la maquinaria para este producto tiene una capacidad de 1200 L de leche; debido al gran volumen, no existen cambios muy rápidos de temperatura por lo que basta con refrescar la lectura de los sensores cada intervalo de tiempo de aproximadamente 3 segundos. Además favorece a la transmisión de la temperatura del fluido al sensor a través de su vaina protectora y aislante física.

Esquema del termómetro

El circuito completo consta de 7 bloques principales para su funcionamiento; fuente de alimentación, microcontrolador, sensores, amplificadores de señal, dispay de 7 segmentos, botonera de configuración, y por último, sistema de alarma.
Los bloques recién mencionados se disponen según indica la siguiente figura.

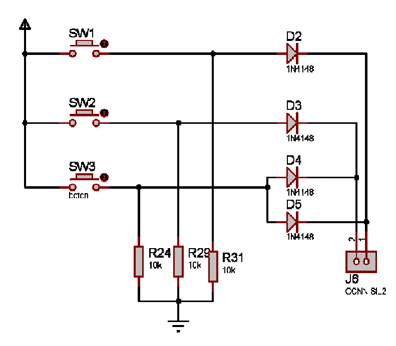


La Fuente

Está compuesta por un transformador de 6 [V] eficaces por 200 [mA]; suficiente para el consumo del circuito. Seguidamente un puente de diodos y un capacitor electrolítico.

La Botonera

El circuito tiene 3 pulsadores los cuales se muestra en la próxima figura. Para economizar pines del microcontrolador, se utilizaron diodos para convertir la señal de los pulsadores a un formato de dos bits.



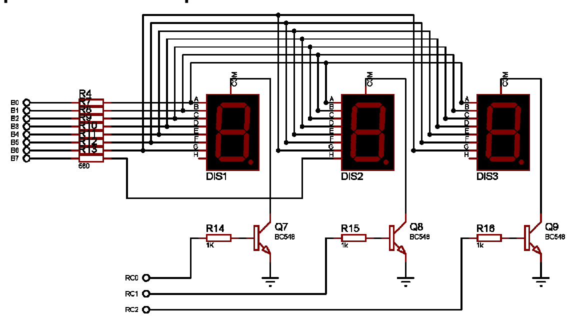
No posee ningún dispositivo antirrobotes de tipo hardware ya que se soluciona desde el software implementado.

De ésta manera se pueden poner cuantos pulsadores se deseen ahorrando de forma notable la cantidad de pines necesarios para interpretar nuestro teclado. Así la salida del circuito corresponde según la siguiente tabla.

SW1	SW2	SW3	Salida
NO	NO	NO	00
SI	NO	NO	01
NO	SI	NO	10
NO	NO	SI	11

Los display

En la siguiente figura se observa el circuito de los display; vale la pena aclarar que son del tipo cátodo común.



Éste esquema de conexión se conoce como multiplexado. El funcionamiento del circuito se basa en exponer el dato correspondiente al número que se desea mostrar; en este caso son 8 bits conectados al puerto B del microcontrolador a través de resistencias para limitar corriente. Los pines de datos son comunes para todos los display del circuito, entonces al saturar los transistores en forma alternada en conjunto con el dato de 8 bits correspondiente a cada display, se logra visualizar perfectamente el número a mostrar.

El Sistema de Alarma

Para facilitar la tarea del operario fue conveniente buscar la manera de poder alarmarlo en caso de que ocurra un evento de importancia en el proceso. Debido a las condiciones de trabajo del proceso en particular, la opción mas eficiente fue una alarma del tipo sonora y visual, la cual esta constituida por una bocina piezoeléctrica y un Led indicador; de esta forma la bocina indica la ocurrencia de un evento y el Led indica que se encuentra activado un temporizador que hará sonar la bocina.
Dicha alarma es configurable por medio de un menú a través de la botonera, la misma permite seleccionar activaciones por eventos relacionados a temperaturas y/o tiempos; para ser más preciso 5 alarmas por temperaturas y 2 alarmas temporizadas.

Los Sensores y Amplificadores de Señal

Como ya mencioné anteriormente, el Sensor utilizado para el proyecto es el **LM35**. Sus principales características se resumen en la siguiente tabla: [1]

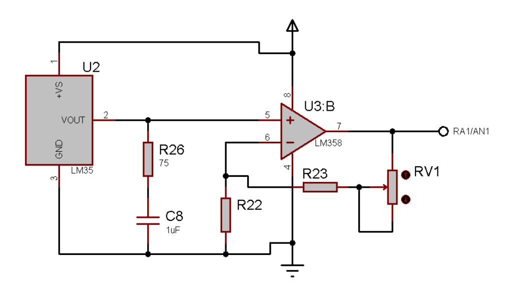
Parameter	Conditions	LM35			Units (Max.)
		Typical	Tested Limit (Note 4)	Design Limit (Note 5)	
Accuracy, LM35, LM35C (Note 7)	$T_A=+25^{\circ}C$ $T_A=-10^{\circ}C$ $T_A=T_{MAX}$ $T_A=T_{MIN}$	±0.4 ±0.5 ±0.8 ±0.8	±1.0 ±1.5 	 ±1.5	°C °C °C °C
Accuracy, LM35D (Note 7)	$T_A=+25^{\circ}C$ $T_A=T_{MAX}$ $T_A=T_{MIN}$				°C °C °C
Nonlinearity (Note 8)	$T_{MIN}\leq T_A\leq T_{MAX}$	±0.3		±0.5	°C
Sensor Gain (Average Slope)	$T_{MIN}\leq T_A\leq T_{MAX}$	+10.0	+9.8, +10.2		mV/°C

Specified Operating Temperature Range: T_{MIN} to T_{MAX} (Note 2)

LM35, LM35A −55°C to +150°C

Otro dato importante es que la salida del sensor es 0 V a una temperatura de 2ºC; teniendo en cuenta que el rango de operación del termómetro es de 3 a 99.9 ºC, los niveles de tensión entregados por el sensor van desde los 10 mV hasta los 980 mV aproximadamente.
Como el sensor se encuentra a 2.5m de la placa impresa, la señal se transmite por medio de un cable mayado en el cual se introduce ruido eléctrico; para eliminarlo se la pasa por un filtro pasa-bajos propuesto por la hoja de datos del fabricante. Luego es amplificada como se

muestra en el siguiente circuito para podes llevar la señal a rangos de tensión convenientes para la conversión en el microcontrolador.



Para poder calibrar el termómetro se colocó un potenciómetro multivueltas que regula la ganancia del amplificador.

El Microcontrolador

El microcontrolador utilizado, como ya se mencionó es el PIC16f876A de Microchip. Dicho dispositivo tiene las siguientes características Sobresalientes en cuanto a capacidad de memoria, cantidad de pines I/O y modulos. [2]

Device	Program Memory		Data SRAM (Bytes)	EEPROM (Bytes)	I/O
	Bytes	# Single Word Instructions			
PIC16F873A	7.2K	4096	192	128	22
PIC16F874A	7.2K	4096	192	128	33
PIC16F876A	14.3K	8192	368	256	22
PIC16F877A	14.3K	8192	368	256	33

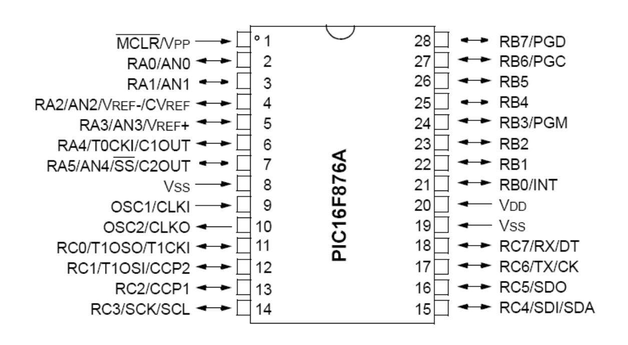
Device	10-bit A/D (ch)	CCP (PWM)	MSSP		USART	Timers 8/16-bit	Comparators
			SPI	Master I^2C			
PIC16F873A	5	2	Yes	Yes	Yes	2/1	2
PIC16F874A	8	2	Yes	Yes	Yes	2/1	2
PIC16F876A	5	2	Yes	Yes	Yes	2/1	2
PIC16F877A	8	2	Yes	Yes	Yes	2/1	2

La utilización de un microcontrolador de la línea 16F de Microchip se debe a la gran cantidad de información sobre ellos, tanto en notas de aplicación como en foros de electrónica, lo que me posibilito entrar al mundo de los microcontroladores.

Y la selección de éste microcontrolador en particular, se realizo teniendo en cuenta que ofrece la posibilidad de utilizar hasta 5 pines como entradas analógicas para la conversión analógica-digital de 10 bit de resolución, lo que permite trabajar cómodamente con décimas de grados en el rango temperaturas escogido para este proyecto.

Otra características muy importante es la cantidad de pines I/O; suficientes para el control de los display, la botonera, y el sistema de alarma.

La distribución de pines se muestra a continuación:



También se tuvo en cuenta el tamaño del encapsulado, el cual es adecuado para la implementación.

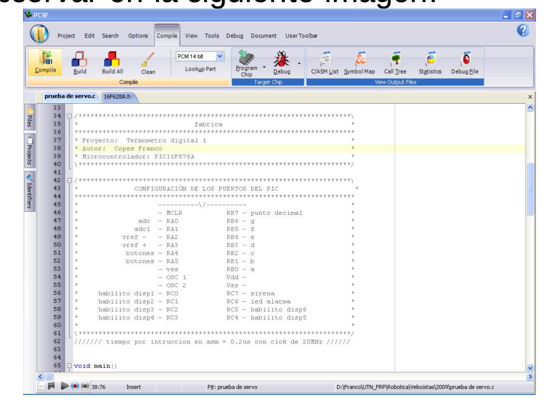
No se tuvo demasiado en cuenta la capacidad de Memoria de programa que posee, ya que el código de programa no es extenso comparado con la capacidad de un microcontrolador de ésta gama.

El software

El software utilizado para el desarrollo del programa grabado en el microcontrolador es el PIC C Compiler. [3]

Permite programar en lenguaje C y C++ de alto nivel con la opción de hacerlo también en código ensamblador.

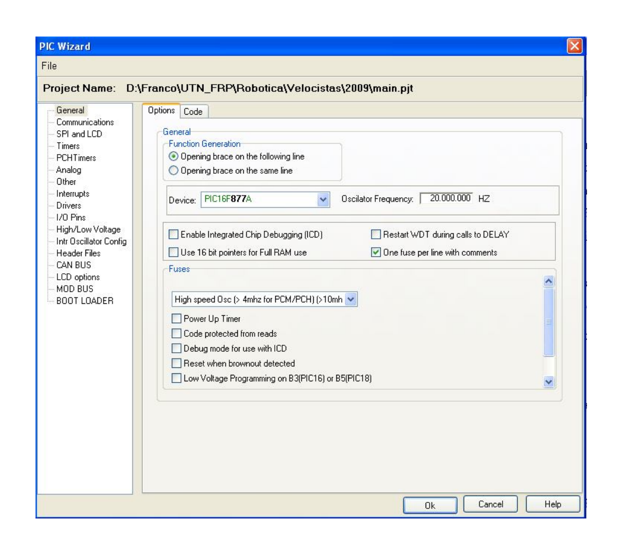
La interfaz de programación se puede observar en la siguiente imagen:



También cuenta con un entorno grafico de inicialización y configuración el cual permite fijar las configuraciones del microcontrolador en cuanto a frecuencia de trabajo, tipo de oscilador, módulos activados y sus respectivas configuraciones, etc. Además se puede ver el código generado en dicha configuración presionando la pestaña siguiente.

Particularmente recomiendo no utilizarlo y hacer la configuración del dispositivo desde la página de código; puede ser útil y en mi caso fue así, para verlo y observar en cierta medida que es lo que se debe y puede configurar en cuanto a puertos y módulos del dispositivo.

En la siguiente figura se muestra el entorno recién mencionado.



Funcionalidad del código

El programa del microcontrolador se desarrollo por completo en C++ y se basa en la lógica de lectura de los dos conversores A/D utilizados en forma alternada cada un intervalo de tiempo acorde a la rapidez de variación de temperatura del fluido; en este caso se realiza cada 0.5 [s].

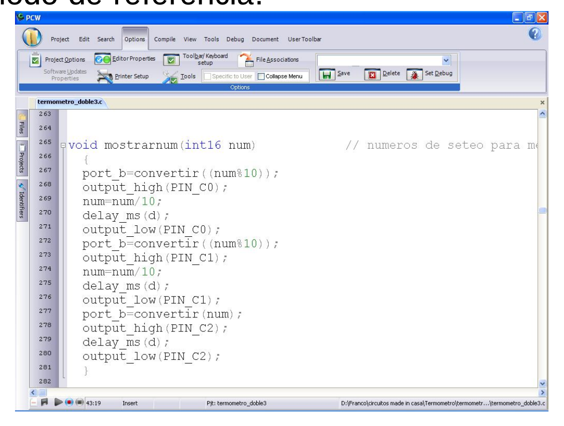
Para la lectura y conversión de la señal provenientes de los sensores de temperatura se utilizaron funciones propias del compilador, las cuales facilitan la configuración y programación del modulo A/D. El modulo permite la configuración de valores de tensión de referencia para realizar la conversión, y debió ser usado porque al alimentar los amplificadores operacionales con 5 [V], estos entregan como máximo 3,5[V] en la salida.

La linealidad de los sensores permitió obtener el valor de temperatura casi directo de la lectura del A/D.

La detección de la botonera se hace por la técnica de Polling. Al detectar la activación de una tecla, se hace un antirrobotes por software; que es en conceptos de programación es una pequeña demora y un bucle cerrado que permite incrementar automáticamente sin soltar la tecla.

Además se crearon tres funciones de visualización para los display; una para mostrar temperatura, una para mostrar los valores de configuración de alarmas, y otra para mostrar el texto necesario para el menú.

A continuación se expone una de ellas a modo de referencia:



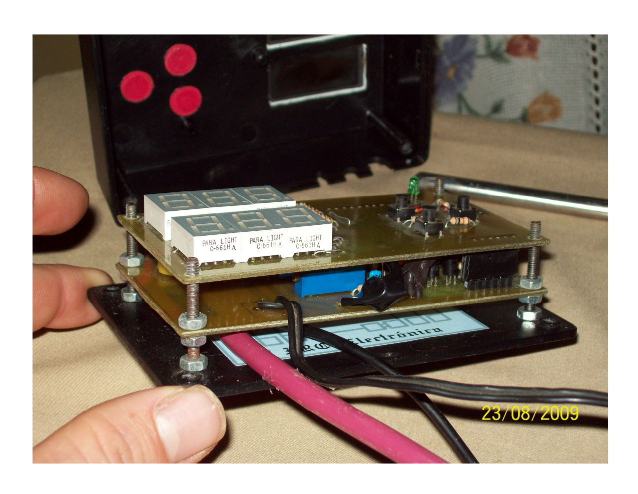
Como base tiempo para la lectura de los sensores y para las alarmas temporizadas, se opto por utilizar la interrupción Timer1 que posee el dispositivo; trabajando con prescaler se obtuvo una precisión suficiente para ésta aplicación, ya que el máximo tiempo de las alarmas son de 90 minutos y el periodo de refresco de lectura de los dos sensores de temperatura no es critico.

Dentro de ésa interrupción también se contempla la generación de frecuencia

para la bocina del sistema de alarma. Además, dicha bocina emite un “beep” al presionar alguna tecla de la botonera.
Como se dijo antes, el aparato posee 5 alarmas activadas por temperatura y 2 alarmas activadas por temporizado las cuales son configurables por el usuario, los valores de estas alarmas están asociados a variables internas de 16bit que se incrementan y decrementan al presionar las teclas correspondientes en el menú de configuración. El código del menú es muy extenso y tedioso, motivo por el cual no será expuesto en ésta ocasión.

El PCB

En el diseño del circuito impreso se trató de dejar una maya de cobre conectada a masa del mayor área posible para no tener influencias de ruido en la señal de entrada.
Otra consideración de diseño, fue hacer el circuito en dos placas separadas, para superponerla y reducir el tamaño de dos de sus dimensiones. La conexión de las mismas se hizo a través de pines de conexión.
Quedando dispuestas como se observa en la siguiente fotografía:



El circuito impreso está hecho sobre una placa de fibra de vidrio, seleccionada por su rigidez y presentación estética. El método para realizarlo fue el de planchado sobre la misma con filmina impresa con el circuito, y luego quemada con percloruro férrico.

El proyecto terminado

El termómetro fue armado en un gabinete plástico de dimensiones ajustadas a la del circuito impreso.
Los sensores se colocaron dentro de vainas de acero inoxidable embebidos en grasa siliconada para favorecer la conducción del calor hacia el sensor. Los cables que unen los sensores con las placas de circuito impreso son de dos tipos diferentes para probar cual ofrece el mejor resultado; uno es mayado en cobre con tres conductores (el de menor diámetro) y el otro mayado en cobre con dos conductores.
Y por ultimo se coloco un plástico con en grado de polarizado para dar mayor contraste a los display.
En la siguiente fotografía se puede apreciar el proyecto terminado y listo para instalar.



Consideraciones finales

El proyecto cubrió en gran medida con las necesidades por las cuales surgió. Todavía queda mucho por mejorar en cuanto a código, hardware y diseño apropiado para el lugar al cual es expuesto diariamente.
Se obtuvo mejor resultado con el cable de tres conductores en cuanto a características eléctricas. En cuanto a resistencia mecánica y terminación el

cable de dos conductores fue mejor por el diseño físico propio del cable.
Si hablamos del software utilizado para desarrollar y compilar el programa, tuve un inconveniente con la configuración de la frecuencia del conversor A/D; el software me indicaba un valor de división de frecuencia para el A/D que no era correcto, lo cual resultaba en un comportamiento inestable de las lecturas.

Referencias

[1] LM35 Precision Centigrade Temperature Sensors Data Sheet, Nacional Semiconductor.

[2] PIC16f87XA Data Sheet, Microchip.

[3] Manual de Usuario del Compilador PCW de CCS.